



EESTI MAAÜLIKOOL
Tehnikainstituut

Taavi Tigason

**ÕPPEAINE “VALGUSTUSSEADISED” LABORATOORSE
TÖÖ JUHEND**

LABORATORY WORK GUIDE FOR THE LIGHTING DEVICES
COURSE

Bakalaureusetöö
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendaja: lektor Jaak Jõgi, *MSc*

Tartu 2021

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Taavi Tigason		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Õppeaine “Valgustusseadised” laboratoorse töö juhend			
Lehekülgi: 41	Jooniseid: 20	Tabeleid: 3	Lisasid: 5
<p>Osakond / Õppetool: Energiakasutuse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4. Loodusteadused ja tehnika, 4.17.</p> <p>Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika.</p> <p>Juhendaja(d): Jaak Jõgi, <i>MSc</i></p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2021</p>			
<p>Bakalaureusetöö eesmärgiks on koostada laboratoorse töö juhend õppeaine “VALGUSTUSSEADISED” jaoks. Töö teoreetilises pooles räägitakse erinevatest õppemeetoditest, nagu aktiivõppe ja selle erinevad alaliigid. Põhjalikumalt on juttu simulatsioonidest ja sellest miks just need on sobilikud tulevastele inseneridele. Hetke maailma olukorda arvestades on kaugõppe meetodina simulatsioonide kasutamine väga aktuaalne teema.</p> <p>Töö praktilises osas paigaldati laborisse valgustid ja mõõdeti klassiruumi parameetrid ära. Töös tutvustatakse põhjalikult DIALux valgustuse projekteerimise programmi. Käsitletakse protsesse alates ruumi projekteerimisest kuni valgustite valimiseni. Lõputöö käsitleb ka põhjalikult erinevaid laboritöös kasutatavaid valgustuse termineid. Tuuakse näiteid hea valgustuse standarditest avalike ruumide ja töökohtade valgustiheduse nõuete alusel.</p> <p>Arvutatakse valitud valgustite valgusviljakus ja tehakse võrdlus teiste lampidega. Valmib õpperuumi mudel, mida kasutades saab DIALux-iga läbi viia valgustuse simulatsioone. Töö lõpus tehakse analüüs ja pakutakse alternatiivseid lahendusi. Lõputöö käigus valmib laboratoorse töö juhend, mis on esitatud lisas.</p>			
Märksõnad: Valgusvoog, valgustihedus, valgusviljakus, aktiivõppe, simulatsioon, DIALux			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Taavi Tigason		Curriculum: Engineering	
Title: Laboratory Work Guide for the Lighting Devices Course			
Pages: 41	Figures: 20	Tables: 3	Appendixes: 5
<p>Department / Chair: Chair of Energy Engineering</p> <p>Field of research and (CERC S) code: 4. Natural Sciences and Engineering; 4.17.</p> <p>Energetic Research; T140 Energy research</p> <p>Supervisor: Jaak Jõgi, <i>MSc</i></p> <p>Place and date: Tartu, 2021</p>			
<p>The aim of the bachelor's thesis is to compile guidelines for laboratory work for the subject “LIGHTING DEVICES”. In the theoretical part of the work, different teaching methods are discussed, such as active learning and its different subtypes. The simulations and why they are suitable for future engineers are discussed in more detail. Also, considering the current situation in the world, the use of simulations as a distance learning method is a very topical issue.</p> <p>In the practical part of the work, lights were installed in the laboratory and the parameters of the classroom were measured. The work thoroughly introduces the DIALux lighting design program. Processes from room design to luminaire selection are covered. The dissertation also deals thoroughly with various lighting terms used in laboratory work. Examples of good lighting standards for public spaces and workplaces based on luminance requirements are also given.</p> <p>The luminous efficacy of the selected luminaires is also calculated and compared with other lamps. A study room model is completed, which can be used to perform lighting simulations with DIALux. At the end of the work, an analysis is performed and alternative solutions are offered. During the dissertation, the instructions for laboratory work are completed, which are presented in the appendix.</p>			
Keywords: Luminous flux, luminance, luminous efficacy, active learning, simulation, DIALux			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	5
1. AKTIIVÕPE	6
1.1. Aktiivõppe meetodid	7
1.2. Simulatsiooni meetod inseneriõppes.	8
2. SIMULATSIOON DIALUX-iga	10
2.1. Eeltöö	10
2.2. Labori mudeli koostamine	12
2.3. Labori mudeli sisustamine	16
2.4. Labori valgustamine	17
2.4. Valgustiheduse arvutused	22
3. TULEMUSTE ANALÜÜS	25
3.1. Labori valgustatuse mõju tööviljakusele ja nägemisele	26
4. ALTERNATIIVSED LAHENDUSED	29
KOKKUVÕTE	32
KASUTATUD KIRJANDUS	34
LISAD	36
LIHTLITSENTS	41

SISSEJUHATUS

Hetkel olukord maailmas sunnib paljusid inimesi kodus olema ning leidma lahendusi kaugtöö tegemiseks. Koolid on kinni ja õppetöö toimub kaugtöö meetodil. Õpetajad ja õpilased peavad olema paindlikud, et harjuda uute normidega. Tuleb leida uusi meetodeid ja lahendusi kuidas õppetöö läbi viia. Muutuste vajalikkus on tingitud ka EMÜ tehnikainstituudi õppekavade reformist.

Tänapäeval on tähtis, et õppeprotsessi käigus areneb ka õpilase isiksus. Sellega seoses on kasutusele võetud väljend “ennastjuhtiv õppija”, ehk *iseõppija*. Iseõppija oskab oma aega ise planeerida ja tulemuste eest vastutada. Iga õpilane saab valida omale sobiva tempo ja meetme lõpptulemuseni jõudmiseks. Selline ennastjuhtiv õppimine on hetkel üle maailma aktuaalne. [2]

Aktiivõpe on õppevorm, mille käigus õpilased kaasatakse õppeprotsessi erinevate tegevuste kaudu. Erinevad meetodid aktiivses õppes on diskusioon, koostööõpe, rollimängud, ajurünnak, simulatsioonid ja veel paljud teised [3]. Simulatsioonid on militaar valdkonnas olnud edukalt kasutusel juba aastaid [6]. Selline õppemeetod on ka sobilik inseneridele ja seda saab läbi viia väga edukalt ka kaugõppes.

Bakalaureusetöö eesmärk on tutvustada teoreetilises osas aktiivõpet ja selle erinevaid õppevorme ning koostada omandatud teadmisi kasutades üliõpilastele piiratud ajakasutust arvestav laboratoorse töö juhend. Praktilise töö käigus soetatakse ja paigaldatakse laborisse kaks uut valgustit. Tehakse reaalsed mõõtmised hangitud valgusallikatega, et neid hiljem võrrelda simulatsioonis saadud väärtustega. Suurt tähelepanu pööratakse valgustus programmi DIALux-i käsitlemisele. Antud töö raames valmib selle platvormi peal labori mudel koos erinevate valguslahendustega. Samuti tehakse tutvust valgustitega ja nende spetsifikatsioonidega, mille järgi leida sobilik valgusallikas. Tutvutakse ka kehtestatud valgustus nõuetega avalikult kasutatavates ruumides ja töökohtades ning valguse mõjuga tööviljakusele ning nägemisele. Tulemuste analüüsi osas võrreldakse simulatsiooni käigus saadud arvutusväärtuseid tegelikult mõõdetavate väärtustega.

1. AKTIIVÕPE

Tuginedes viimaste aastate sündmustele seoses koroona kriisiga ning selle mõjul õppetöösse siis on süvenenud vajadus reformida õppesüsteemi. Kui passiivõppe puhul on õpilane justkui tühi anum, mida õppejõud proovib täita andes edasi oma teadmisi siis aktiivõppe puhul saab õpilane võimalikult palju ise panustada. Järjest enam ja enam on õppejõud hakanud kasutama aktiivõppe meetodeid nähes, et sellel on motiveerivad tulemused . [1]

Viimastel aastatel on pedagoogid üle terve maailma toonud õppetöösse sisse erinevaid laboritöid, milles õpilased saavad ise kaasa lüüa ja uusi teadmisi omandada. Põhimõtte, millega aktiivõppe edukust põhjendatakse on selles, et õpilased suudavad infot paremini talletada kui saavad ise valida tempo ja õppeprotsessi meetodid. Kuigi iseseisva õppimise meetod on leidnud laialdast tunnustust, pole siiski täpselt teada miks selline lähenemine paremaid tulemusi annab. [1]

Tänapäevane õpiteooria peab oluliseks, et õppimisega kaasneks õpilase isiksuse areng. Sellega seoses on kasutusele võetud väljend “ennastjuhtiv õppija”, mida eesti keeles on lihtsam nimetada *iseõppijaks*. Iseõppija oskab oma õppeprotsessi ise juhtida, oma aega planeerida ja tulemuste eest ise vastutada. Ta seostab enese juhtimise enda vaatlemisega. Iseõppijaks saamine on üsna keeruline. Võib kindlat väita, et aktiivsed ja suhtlemiskesksed õppemeetodid aitavad õpilasel saada iseseisvaks oma õpingutel. Kõige tähtsam on, et õpilased suudaksid õpitut rakendada erinevates olukordades. [2]

Aktiivõpe eeldab, et õppejõud on küllaltki loova iseloomuga, ning suudaks luua sobiliku õpikeskkonna. Kui seni oli õpetaja klassi juhtiv figuur ja õpperühma aktiivsus väljendus peamiselt pingsas jälgimises, siis nüüd rollid vahetuvad: - juhendaja jääb küll suunajaks ja jälgijaks, ent klassi aktiivsus saab endale vabad käed. Õpetajate õppemeetod on teha õppimine “nähtavaks”, tekitades õpilastes õppimise vastu huvi. Tuleb aidata õppeaine seosesid leida, ergutada teadmisi ja oskusi omandama, mis võimaldaks õppijal endal maailma asju arusaadaval viisil avastada. Nagu ütleb jaapanlaste vanasõna: „Meister ei õpeta, vaid loob õpetliku olukorra“. Pole olemas universaalset õpetamise meetodit ja see mida efektiivselt kasutada määrab olukord. Õpetamise nüüdisaegne olukord, kus pool maailma on kaugõppes ning õpetaja ei saa lapse kõrval seista ja näpuga rida taga ajada,

eeldab mitte traditsioonilisi õpetamisviise. Pole õiget ja ühtset lähenemist viisi sellele probleemile, vaid tuleb individuaalselt lahendus leida vastavalt olukorrale. [2]

1.1.Aktiivõppe meetodid

Kogemisõppe on õppetegevus, kus simuleeritud harjutuse kaudu toimub aktiivne õppimine. See tähendab, et teadmisis omistatakse kogemise ja avastamise teel [3]. Erinevad meetodid:

- 1) Simulatsioon- reaalne või väljamõeldud keskkond ja millest lähtuvalt tuleb lahendada ülesandeid. Oluline on, et osalejatel oleks õiged juhised ja info, et sellest tulenevalt teha õiged otsuseid ning näha nende tagajärgi. [3]
- 2) Vestlus ehk diskussioon, mille käigus õpilased arutlevad kindlat teemat. Diskussiooni puhul on parem kui arvamusi on rohkem. Nii on võimalik teemat rohkem lahti mõtestada. Selline meetod on hea vahend vastastikuseks õppimiseks. [3]
- 3) Koostööõppe kujutab endast väikest õpilaste rühma, kes teevad rühmatööd ühise eesmärgi nimel. On oluline, et kõik rühma liikmed saaks aru, et kõik invidiidid töötavad ühiselt kindla eesmärgi suunas ja kõik peavad kaasa tegema. [3]
- 4) Rollimängud on osa õpilase sotsialiseerimisprotsessist, mille eesmärk on arendada õpilase suhtlemis- ja käitumisoskust. [3]
- 5) Foorumteater kui sotsiaalteater, mille eesmärgiks on taastada inimeste vahelist dialoogi, et nad võiksid tervislikumalt oma huvide ja õiguste eest seista ja ühiseid lahendusi leida [3]
- 6) Ajurünnak ehk ideeloomemethod, mille puhul püütakse luua kriitikavaba õhkkond, et kogunenud erinevate iseloomudega ja taustadega inimesed saaksid esitada mitmesuguseid ja isegi pööraseid ideid. Ajurünnaku puhul esitavad õpilased piiratud aja jooksul nii palju erinevaid mõtteid ja lahendusi kui nad suudavad. [3]

1.2.Simulatsiooni meetod inseneriõppes.

Simulatsioon on kasutatav alates sellest, kui õppejõud soovib arendada õpilastel analüüsi-, sünteesi- või hindamisoskusi. Teadmised ja mõistmised peavad enne simuleeritava protsessi olema omandatud, kasuks tuleb kindlasti kui osatakse neid oskusi ka eelnevalt juba kasutada lihtsamates situatsioonides. Alles seejärel, kui õppejõud soovib omandatud oskusi kasutada mingisuguse protsessi analüüsimiseks, sünteesimiseks või õpioskuste kaudu hinnangu andmiseks, osutub kasulikuks simulatsioon. [4]

Simulatsioonid on ühed populaarsemad kasutuses olevad õpikeskkonnad. Sealjuures võib arvutisimulatsiooni tõlgendada kui õpitarkvara, mis sisaldab reaalsest või teoreetilist mudelit. Simulatsioonid sisaldavad mingi nähtuse, protsessi või süsteemi esitust mudeli kujul, mille eesmärgiks on hankida uusi teadmisi ning rakendada olemasolevaid. Seega on mudelid üsna sarnased simulatsioonidega, nende erinevus peitub selles mida ja kuidas esitatakse. Mudelid on lihtsustatud demonstratsioonid objektide kui protsesside kohta. Simulatsioone üksnes objektide esitluseks ei looda ning nende rõhuasetus on protsesside võimalikult autentses kujutamisel. [5]

Simulatsiooni abiga rakendatakse individuaalset lähenemist, mis võimaldab igal õpilasel töötada oma valitud tempos ja keskkonnas ning valida seatud eesmärgi saavutamiseks oma suund. Selle õppemeetodiga haaratakse õppijad aktiivselt õppetegevusse ning tänu sellele saavutatakse ka paremad õppetulemused. Simulatsioonist kui aktiivõppe meetodist oodatakse paljude õppimist puudutavate kitsaskohtade ületamist või leevendamist:

- 1) õpimotivatsiooni tekitamine - simulatsioonid aitavad tavapäraseid kaugeid probleeme õpilastele lähedasemaks muuta ning toovad rutiinsele õppetööle midagi uut ja meeldejäävat juurde. [5]
- 2) kõrgemate kognitiivsete tasandite värbamine õppetöösse - harjumuspäraselt tegeletakse enamasti ainult ära õppimisega. Simulatsioonid võimaldavad ka õpitud teadmiste rakendamist elulises situatsioonis, seeläbi arendades ka analüüsi, sünteesi ja hinnangute andmise oskusi. [5]
- 3) erinevate lahenduste simuleerimine ja näha tulemusi mudelite kujul. [5]

Vaadeldes teisi valdkondi nagu näiteks militaarsfäär, siis seal on simulatsioonid ja virtuaalne sõjategevus üsna tavapärased. Simulatsiooni plussid sõjategevuses on väga üsna reaalsed kogemused, majanduslik kokkuhoid ning kõiksuguste õnnetuste ära hoidmine [6]. Rääkides käesolevast lõputöö teemast ning valdkonnast, on inseneride jaoks oluline luua midagi käega katsutavat, ehk reaalselt olemasolev mudel, mille parameetreid muutes saab tagasisidet ning tulemused on silme ees olemas. Selliseid võimalusi pakuvad erinevad projekteerimis- ja visualiseerimistarkvarad.

Elektrivalguse laboritööde jaoks on olemas väga hea ja praktiline programm DIALux. Antud programm on kasutajasõbralik ning ka üliõpilase rahakotile sobilik variant, olles vabatarkvara. DIALux annab väga hea ülevaate elektrivalguse loengutest juba eelnevalt tuttavatest terminitest nagu näiteks valgusvoog, valgustihendus ja valgustugevus. Muutes programmis ruumis kasutatavate valgustite parameetreid ja asendades ühte tüüpi lambid teistega, tekib muutus mis on koheselt ka silmaga nähtav – muutub nii toa valgustatus kui ka numbrilised arvutustulemused. Sellist laadi simulatsioon on sobilik paljudele üliõpilastele, seda just põhjusel, et antud meetodi puhul saab igaüks valida endale sobiva tempo ja keskkonna. Lisaks on antud õppemeetodil maailma hetke olukorda arvestades eelis –sellisel viisil saab õppida distantstilt ja seega järgida kõiki hetkel ühiskonnas kehtestatud piiranguid.

2. SIMULATSIOON DIALUX-iga

2.1.Eeltöö

Enne simulatsiooni tegemist DIALux-is oli vaja teha natukene eeltööd. Kõigepealt tuli lõputöö autoril välja valida valgustid laborisse. Valitud valgusallikad pidid olema DIALux-i kataloogides olemas, seinale peale kinnituvad ja piisava valgusvooga. Õppeotsatarbel sai valitud üks neutraalse valgusega ja teine külma valgusega lamp, et tekitada mudelarvutuste jaoks erinevad sätted. Valituks osutusid firma V-Tac peeglivalgustid (joonis 1). Lampide sildiandmed leiab töö lisas lehekülgedel 39-41.



Joonis 1. Peeglivalgusti V-Tac.[7]

Järgmise sammuna tuli labori parameetrid teada saada. Selle jaoks tuli mõõta ruumi kõik küljed ja kõrgused ning samuti oli vaja teada ka mööbli täpset asukohta kui ka mõõtmeid, et hiljem tekitada võimalikult reaalne mudel. Viimase eeltööna paigaldas koolitehnik valgustid, mille tulemusena sai nende asukohad teada (joonis 2). Kuna koolis ei saa kohapeal viibida siis tegi lõputöö autor laborist pilte (joonis 3), et saavutada võimalikult sarnane koopia simulaatoris.



Joonis 2. Paigaldatud valgustid (autori pildistatud).

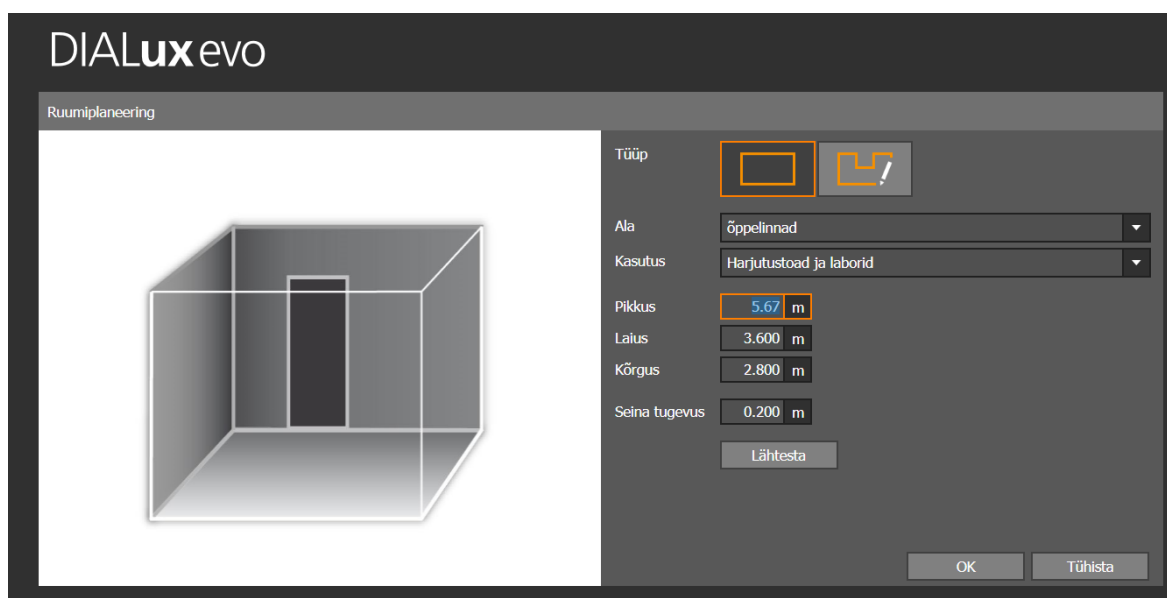


Joonis 3. Simuleeritav labor (autori pildistatud).

2.2. Labori mudeli koostamine

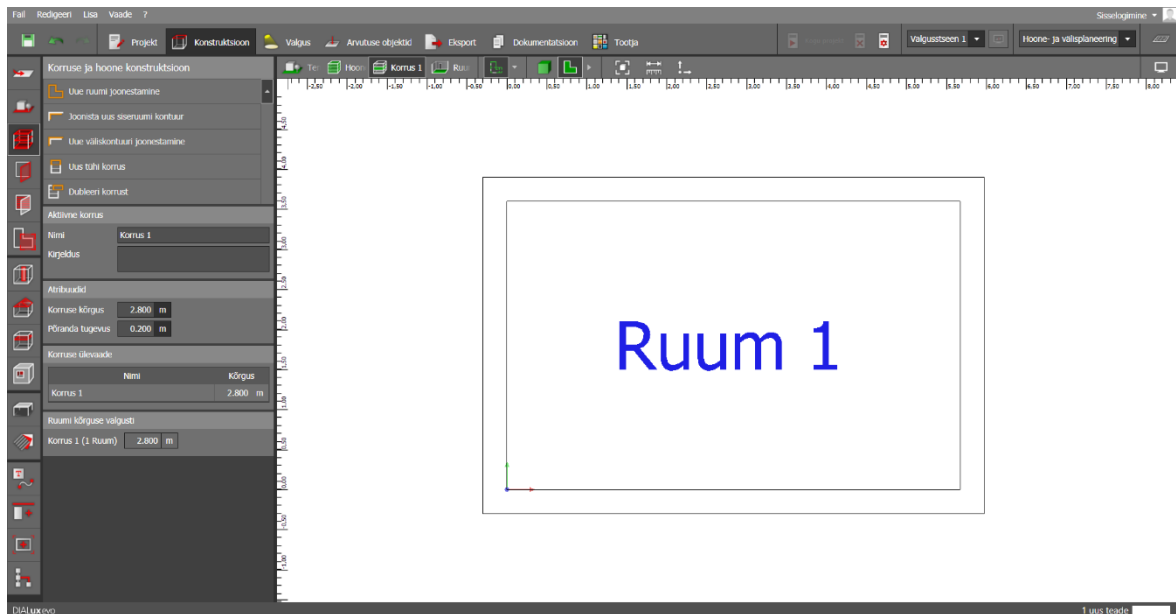
Parameetrid ja kõik muu vajalik teave tuleb sisestada simulatsiooni programmi. Kui keegi on kunagi mänginud mõnda simulatsiooni mängu nagu The Sims siis ei peaks tekkima raskusi ka antud ülesandega. Dialux on keerukam ja teatud nüansid võrreldes teiste joonestusprogrammidega vajavad harjumist ja vilumust. Soovituslikult tuleks vaadata mõni õppevideo mõnes interneti keskkonnas nagu Youtube või ise katsetada mõne lihtsa ruumi sisustamise ja valgustamisega. Kuigi Dialuxiga saab ehitise teha otsast lõpuni kõik ühes programmis, tuleb ikkagi meele pidada, et tegemist on valgustuse simulatsiooni programmiga. Sellest tulenevalt võib joonise ja objekti enda tegemine mõnes joonestusprogrammis (näiteks Autocad) olla tunduvat lihtsam. Kõik muidugi sõltub inimesest endast - kes mis programmi on harjunud kasutama.

Nii nagu eelnevalt mainitud siis saab terve suure objekti teha Dialuxis, koos parkimisega, pargi ja kõige muu vajalikuga. Lõputöö autori koostatud laboritöö projekt pole nii mahukas ja avades programmi saab valida ka väiksema mahuga töö, klõpsates käsklusele *Ruumiplaneering*. Sealt edasi peaks avanema ekraanile selline aken nagu joonisel 4 kujutatud on. Avanenud menüüs saab sisestada labori parameetrid ja valida juba milleks kasutad antud ruumi. Teades objekti kasutusala saab programm automaatselt arvutuste jaoks soovitada valgustihedust, mis on ettenähtud mingit tüüpi keskkonna jaoks. Arvutustest ja valgustihedusest tuleb juttu allpool. Lõpetuseks vajutada nuppu *OK*.

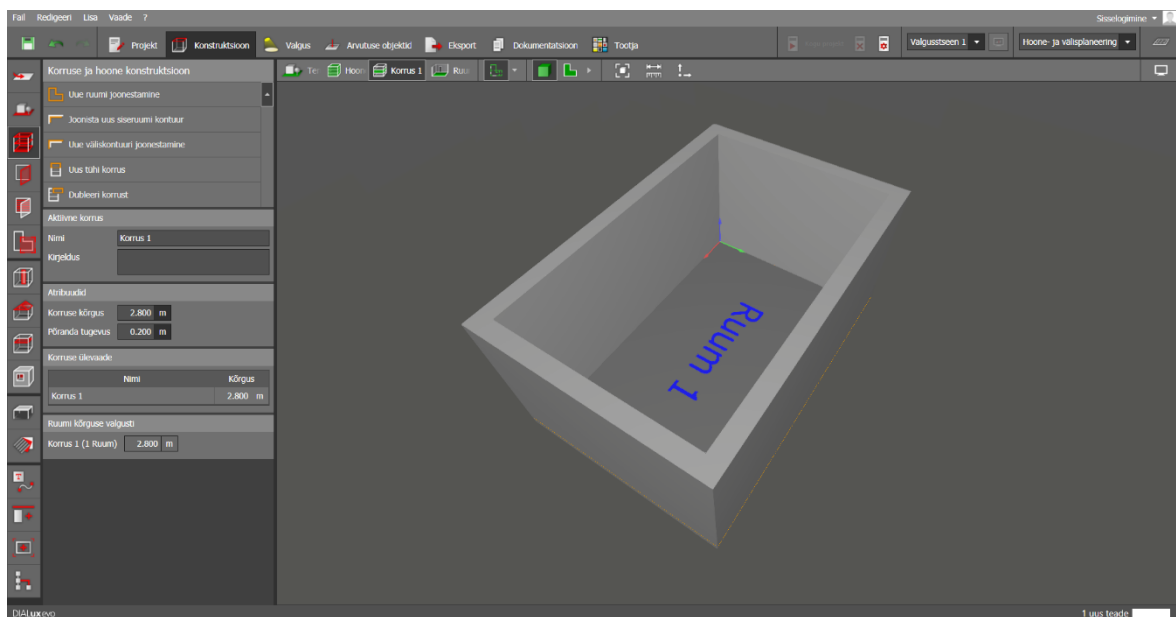


Joonis 4. Ruumiplaneeringu aken Dialuxis (autori koostatud kuvatõmmis).

Tulemusena peaks avanema loodava ruumi 2D pealtvaade(joonis 5). Vajutades rohelist kuubiku ikooni avaneb 3D vaade(joonis 6). Kui tekib vajadus midagi objekti juures muuta nagu seinapaksust või lae kõrgust siis on seda ka võimalik hilisemalt teha. Konstruksiooni vaates olles avaneb kõrval olevast tulbast igasuguseid võimalusi, et muuta valitud ruumi võimalikult identseks reaalsusega.

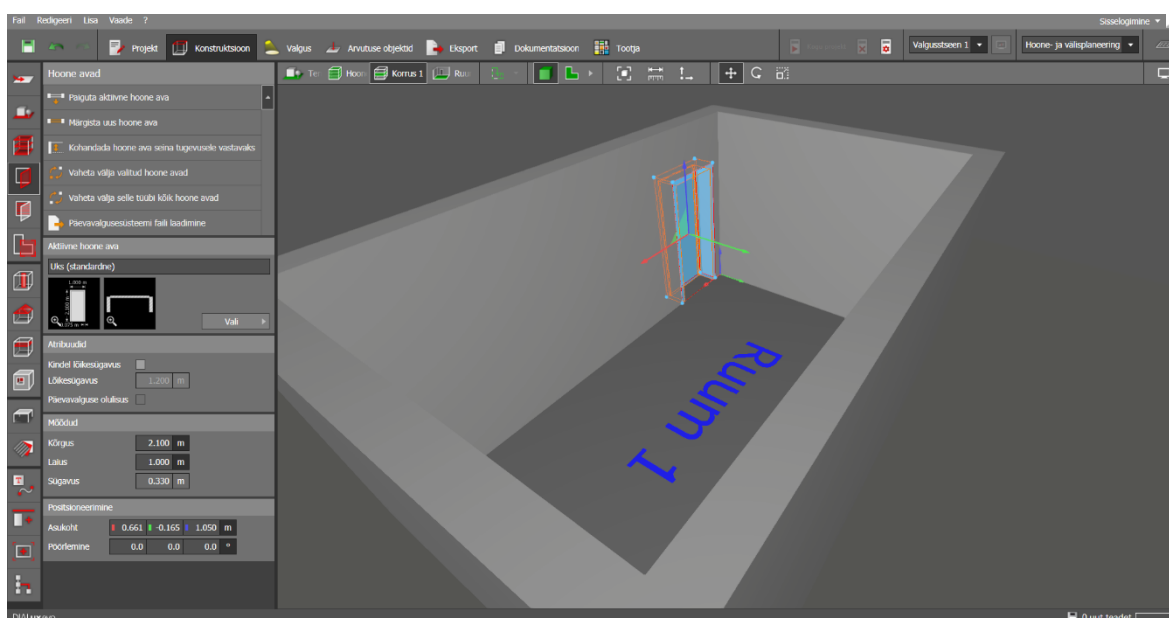


Joonis 5. 2D pealtvaade (autori koostatud kuvatõmmis).



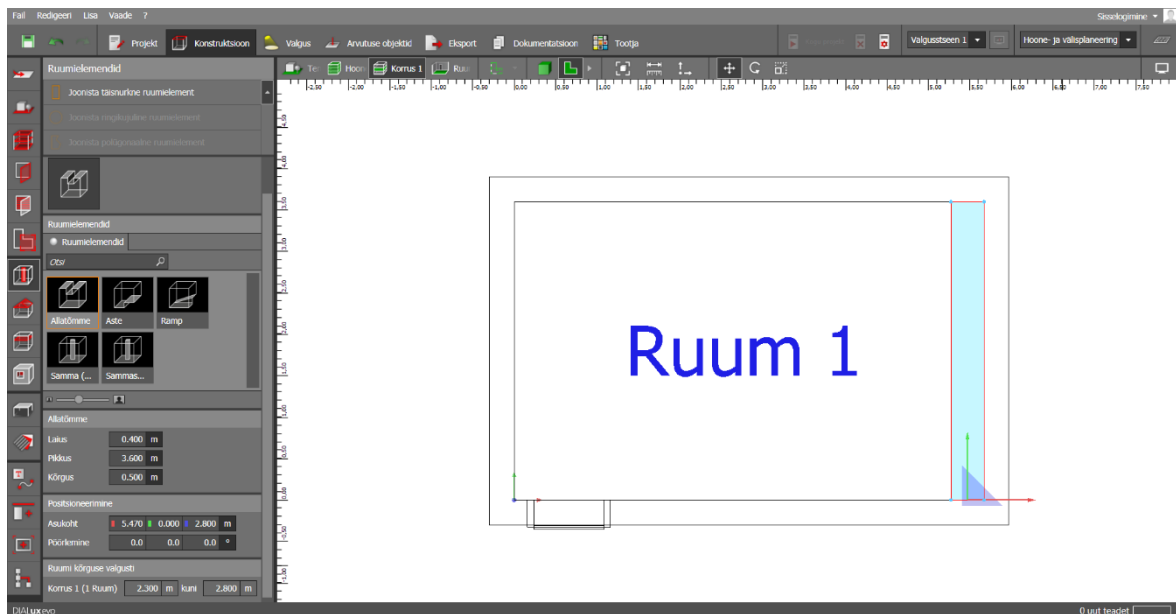
Joonis 6. 3D pealtvaade (autori koostatud kuvatõmmis).

Järgnevalt lisatakse labori simulatsioonile kõik avad, süvised ning astmed. Laboril puuduvad aknad ning on ainult üks uks. Ruumis asetseb üks kapp seina sees, mille jaoks tuleb konstruktsiooni sisse ava teha. Lae all on betoonist aste ning radiaatori jaoks on samuti vaja teha süvis seina. Lõputöö autor alustas kõige lihtsamast ülesandest ehk lisas tööle ukse. Kõigepealt tuleb veenduda, et ollakse konstruktsiooni vaates. Lihtsamaks teeb asja, kui valida programmis „pealtvaade“. Järgnevalt tuleb valida vasakult ülevalt neljas ikoon nimega *Hoone avad*. Avanenud vaates valida kataloogist endale sobiv uks ja peale seda täpsustada parameetrid. Lõpuks tuleb valitud ukse kujutis joonisele tirida selleks sobilikule kohale. Kui uks on tehtud aktiivseks, saab selle parameetreid muuta kui ka millimeetri täpsusega positsioneerida. Antud töö tulemusena peaks valmis saama 3D mudel nagu joonisel 7.



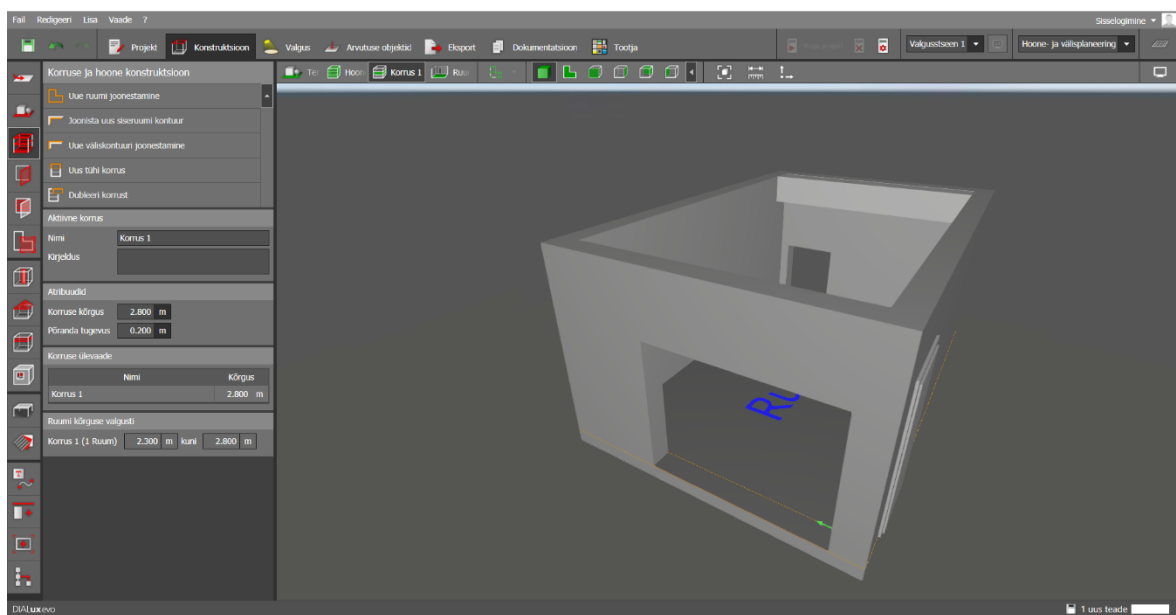
Joonis 7. 3D vaade paigaldatud uksest (autori koostatud kuvatõmmis).

Enne labori sisustamist mööbliga ning seinade värvimist, tuleb teha veel iseäralik aste laes ning samuti seina süvised. Astme tegemine algab samamoodi peale nagu uksegi. Lõputöö autor eelistab teha seda pealtvaates, kuna see on mugavam antud ülesande jaoks. Valides kõrval tulbast seitsmes ikoon nimega *Ruumielemendid*, avaneb vaade kus on valikus käsklus *Allatõmme*. Olles plaanivaates tuleb lihtsalt soovitud asukohta ruumielement tirida nagu eelnevalt sai uksega tehtud. Järgnevalt tuleb sisestada objekti parameetrid ja peale seda lõplikult paika sättida, kas joonisele tirides võis positsioneerimis tabelit kasutades. Lõpptulemus kujutatud plaani vaates joonisel 8.



Joonis 8. Plaani vaade lisatud ruumielemendist (autori koostatud kuvatõmmis).

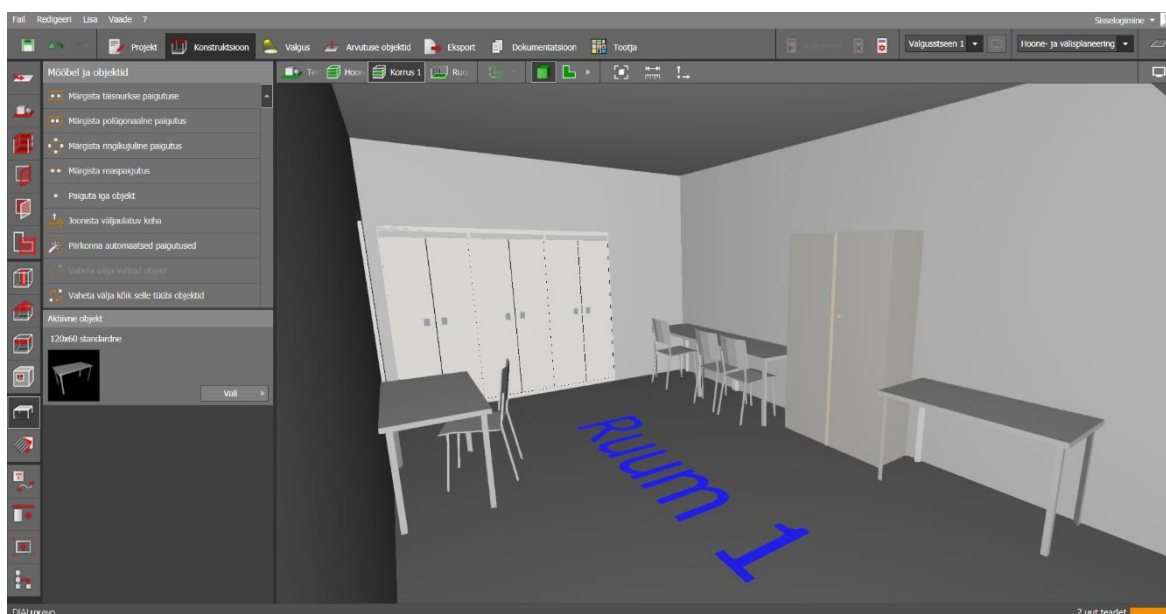
Viimasena tehakse veel puudu olevad avad ja süvised. Selle jaoks kasutatakse vasakul olevast menüüst käsklust *Plaan*. Selle käskluse alt saab teha erinevaid väljalõikeid ja süviseid. Töö autor soovib valida endale sobiv vaade, vastavalt sellele kuhu on vaja teha väljalõige. Seda saab valida klõpsates plaani vaate kõrval olevale noolele. Valitud õige vaade tuleb lihtsalt objekt joonisele kanda. Hiljem saab kõiki parameetreid täpselt muuta ja positsioon endale sobilikuks määrata. Tulemuseks on joonisel 9 kujutatud 3D mudel.



Joonis 9. Süvistega 3D mudel (autori koostatud kuvatõmmis).

2.3. Labori mudeli sisustamine

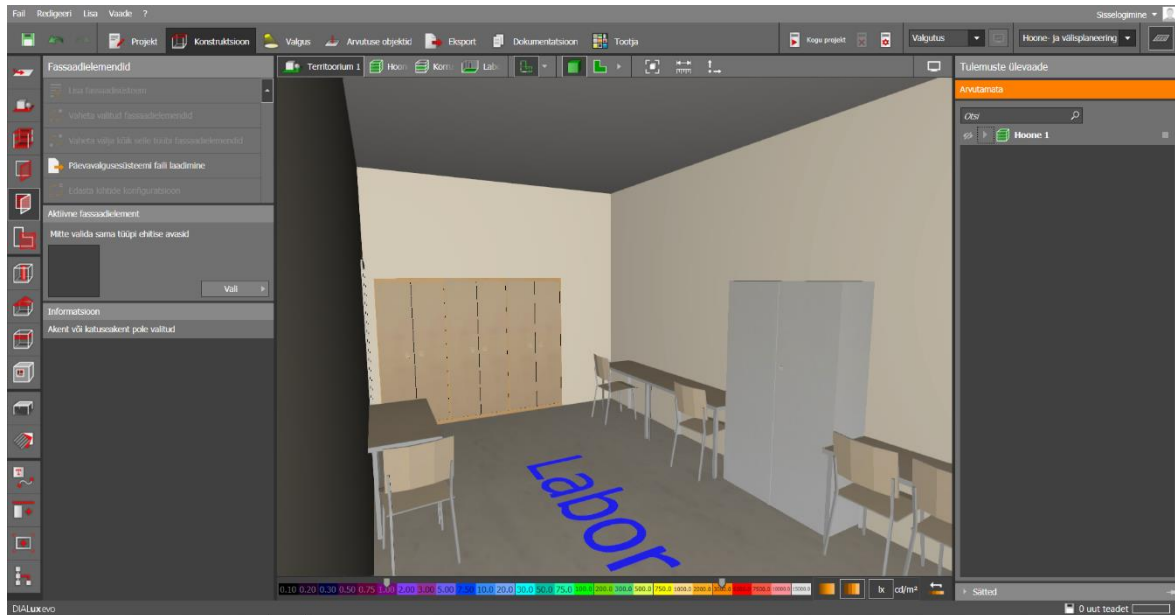
Labori sisustamine toimub vasakul oleva menüü ikooniga *Mööbel ja objektid*. Sealt edasi avaneb aken kus tuleb vajutada nupule *Vali*. Nüüd avaneb võimalus kasutada kas Dialuxi enda kataloogi või alla laadida mõni muu sisustus kataloog. Kuna kaasasolev kataloog on üsna laialdase valikuga siis piisab sellest üldjuhul enamikele lihtkasutajatele. Loogika, kuidas mööblit paigutada on sama nagu eelnevate käskluste puhulgi. Tuleb välja valida sobiv mööbliese, tirid selle soovitud kohale plaani peal ning sisestad parameetrid. Mida rohkem vaeva näha, et leida identne mööbel, seda reaalsem tundub lõplik mudel. Joonisel 10 on kujutatud sisustatud labor.



Joonis 10. Sisustatud labor (autori koostatud kuvatõmmis).

Sisustamise tähendab ka seda, et labor peaks saama seina- nii kui ka põrandakatted. Samuti tuleb need värvida. Seda kõike saab teostada vasakus menüüs asuvas *Materjalid* aknas. Põhimõte on sama nagu programmis Paint kui kasutada värvitünni ikooni, et mingi suurem ala saada teatud värvitooni. Tähtis on, et valituks saaks õiged materjalid, sest materjalidel on erinevad peegeldustegurid. Kui panna põrandale harilik kivi ja tegelikult on läikega parkett siis see mõjutab arvutus tulemusi. Üks variant kuidas saada võimalik identne lõplik tulemus on teha igast materjalist eraldi pilt. Kasutades Dialuxi on *Materjalide* aknas käsklus *Loo tekstuuri materjal*. Selle käskluse alt avaneb aken, mille kaudu saab valida tehtud tekstuuri pildi. Edasi tuleb valida pind või mööbliese ning saadud tekstuuri materjal objektile peale tirida värvimiseks. Vajadusel saab muuta ka peegeldustegurit. Kui pole teada täpne värv

kood siis tuleb seda teha katse-eksitus meetodil. Tuleb nii kaua proovida kui lõplik tulemus näeb originaalile võimalikult sarnane välja. Tänu sellele on mõõte ja arvutus tulemused täpsemad. Joonisel 11 on kujutatud värvitud pindadega mudelit.



Joonis 11. Värvitud pindadega labor (autori koostatud kuvatõmmis).

2.4. Labori valgustamine

Valgustite valik on Dialuxis väga suur. Iga vähegi tuntud tootja on oma kataloogi teinud selle programmi jaoks. Valgustite valimisel tuleb lähtuda sellest millisel otstarbel antud ruumi kasutatakse. Kui tegu on näiteks õpperuumiga siis peab ruum küllalt hästi valgustatud olema. Avalikult kasutatavates ruumides ja töökohtadel tuleb arvestada ka kehtestatud nõuetega. Eesti Vabariigi Valitsuse määrus "Töökohale esitatavad töötervishoiu ja tööohutuse nõuded" ütleb, et töökoht peab olema piisavalt valgustatud. Kui valgustus vastab standardile EVS-EN 12464-1:2011, siis loetakse see nõuetele vastavaks. [8]

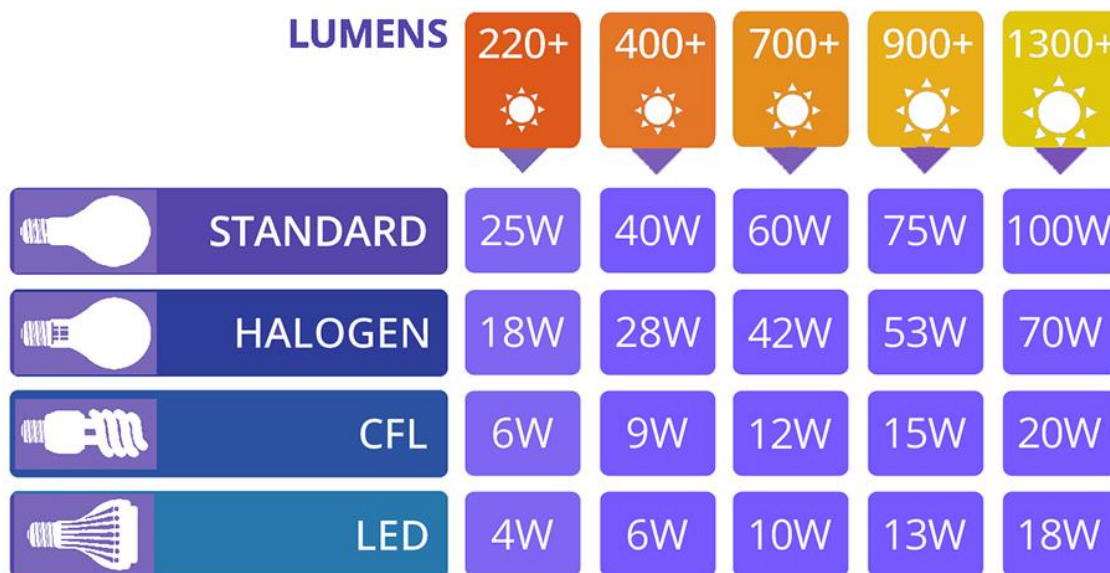
Standardis EVS-EN 12464-1:2011 on ära toodud ka valgustiheduse nõuete tabelid erinevate tüüpsituatsioonide jaoks. Tabelis 1 on välja toodud mõningad näited.

Tabel 1. Valgustiheduse nõuded erinevate ruumide jaoks, lux. [8]

Ruumi funktsioon	Valgustihedus
1. Liiklusala ja koridorid	100
2. Laadimisala	150
3. Puhkeruumid	100
4. Pesuruumid, tualettruumid	200
5. Varude - ja hoiuruumid	100
6. Kirjutamine, lugemine, andmetöötlus	500
7. Müügipiirkond	300
8. Kassapiirkond	500
9. Fuažeed, sisenemisruumid	100

Definitsiooni järgi on valgustihedus ehk valgustatus valgussuurus, mis iseloomustab valgustatava pinna ühikule langevat valgusvoogu. Ühikuks on lux, kusjuures $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$. Järelikult kui 1 m^2 pinnale langeb valgusvoog väärtusega 1 lumen, siis on selle pinna valgustihedus 1 lux. [9]

Enamik tänapäeva valgusallikaid on LED-id kuna nad on energiasäästlikumad. Varasemalt on olnud kasutuses veel hõõglampe, luminofoorlampe ja halogeenlampe. Joonisel 12 on kujutatud eri lampide võimsused saavutamaks teatud valgusvoog.



Joonis 12. Eri tüüpi lambid ja nende võimsused valgusvoo suhtes. [10]

Led-idel on kõrgem valgusviljakus võrreldes teiste konkureerivate lampidega. Valgusviljakus on valgusallika valgusvoo ja selle saavutamiseks tarbitava võimsuse jagatis[16].

Valem selle leidmiseks:

$$\eta_v = \frac{\phi}{P} [16]$$

SI-süsteemi mõõtühik valgusviljakusele on lumen watti kohta(lm/W) [16]. Teades suuruseid leiame laborisse valitud kahe valgusti valgusviljakuse:

$$\eta_k = \frac{972}{10} = 97,2 \frac{lm}{W} \quad \eta_n = \frac{950}{10} = 95 \frac{lm}{W}$$

Tabelis 3 on toodud erinevate valgusallikate valgusviljakused.

Tabel 3. Valgusallikate valgusviljakused, $\frac{lm}{W}$ [16]

Valgusallikas	Valgusviljakus
Hõõglambid	10-20
Halogeenlambid	15-25
Kompaktluminofoorlambid	50-75
Leedlambid	60-130
Naatriumlambid	150-200

Arvutatud tulemuse põhjal ja tabelis toodud andmete järgi, paikenvad valitud valgustid leedlampide kategooria keskmikus. Tabelist selgub, et kõige valgusviljakamad on naatriumlambid. Neid valgusallikaid kasutatakse laialdaselt tänavavalgustites ja nad on hästi ära tuntavad oma kollakasoranži valguse järgi. Naatriumlambi praktiliselt monokromaatilise kiirguse valguses on raske eristada esemete erinevaid värve, objektid eristuvad ainult heleduse järgi. Tänu sellele pole need lambid laialdaselt kasutusel töökohtadel ja eluruumides. [16]

Poodides valgusteid valides on eraldi välja toodud tavaliselt teatud näitajad antud valgusallika kohta. Tähtsamad suurused mida jälgida leedlampide valimisel:

1) Luumen(lm) ehk lambi valgusvoog, mis väljendab kiirgusvoo valguslikku toimet silmale. See peaks olema esimene asi mida jälgida. Eri tüüpi lambid kasutavad eri võimsusi sama valgusvoo tekitamiseks. Mida suurem on luumeni arvnäitaja, seda rohkem valgust suudab lamp toota. [11]

2) Värvusetemperatuur Kelvin (K) ehk valguse toon, mis väljendab värvinägemisega soojusliku muljet. Kui valguse toon on kuni 3300 K, tundub valgus soojana, aga kui üle 5300 K siis külmana. Umbes 4000 K on valguse neutraalne. Mida suuremaks väärtus muutub,

seda külmem tundub valgus. Inimesele mõjub kõige soodsamalt alati valguse täisspekter ehk päikesevalgus. Täisspekter on ühtlane päikesevalguse spekter. [11]

3) Värviedastusindeks (CRI) näitab kui tõetruult edastab valgusallikas objektide värve. Interjööri tehisvalgus peab lubama inimsilmal tajuda värve õigesti, nagu oleks loomulik päevavalgus. Ilma moonutusega värviedastusindeks on $R_a=100$, see tähendab, et kõiki värvi tajutakse samavõrdselt hästi. Rahuldab värviedastusindeks on alates $CRI>80$. [11]

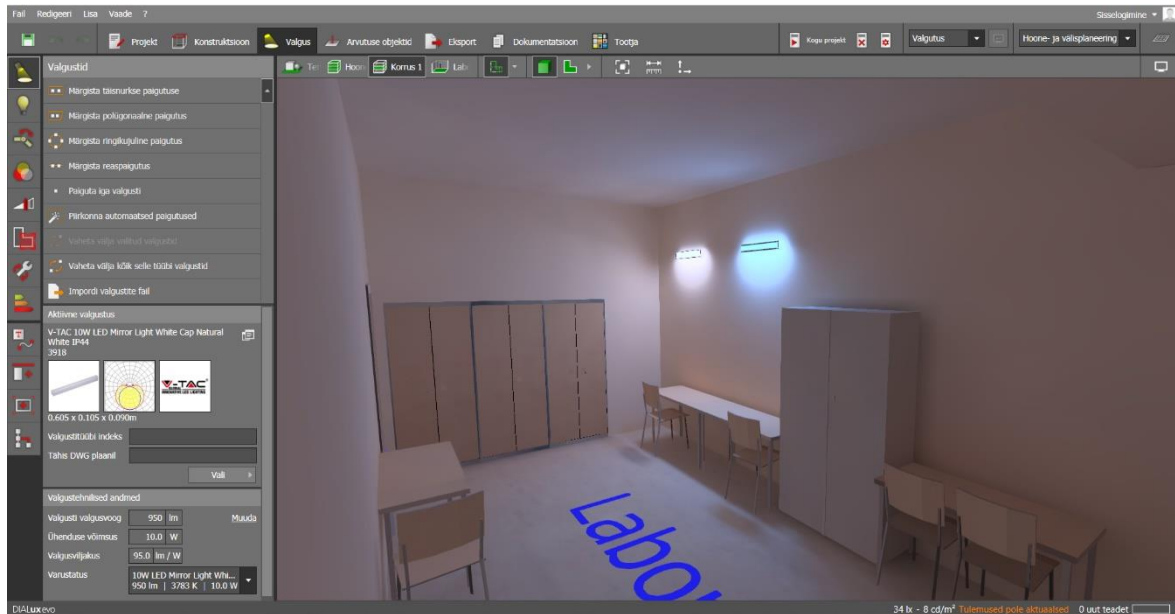
4) Lambi võimsus Watt (W), mis nüüdsel ajal ei anna valgusevihi omadusest adekvaatset infot. See näitab ainult valgusallika efektiivsust ehk siis kui palju võimsust vajab ta antud valgusvoo tootmiseks. Tarbija saab teada ühesõnaga elektrikulu tunnis. [11]

Kuna antud labori valgustamise mõte on tekitada iseäralik olukord õppimiseks siis sai valitud eri värvitemperatuuridega valgustid. Valgustite toote andmetabelitega saab tutvuda töö lisade all lehekülgedel 38 ja 39.

IP puhul on tegemist kokkulepitud standardiga, mis näitab seadme vastupidavust välise keskkonna mõjudele. Vajadus antud skaala järgi tekkis kuna erinevad tootjad kirjeldasid oma toodete vastupidavust eri meetodil. Tarbija jaoks oli see segadust tekitav kui pidi võrdlema erinevaid seadmeid. IP tähiseks on kaks numbrit, milles kummalgi on oma määratud tähendus. Kui numbri asemel on märgistusel X siis pole selles osas seadet katsetatud ja vastav omadus jääb märkimata. IP tähisel on olemas ka kolmas, neljas ja viies number kuid neid üldiselt ei rakendata. Kolmas sümbol näitab mehhaanilist tugevust. Neljas sümbol on täht ja näitab kas on võimalik seadmele ligi pääseda eri mõõtu materjalidega. Viies sümbol näitab täiendavalt seadme eripärasid nagu kõrgepinge ja liikumine veetest ajal. Hilisem standard on lisanud tähe K, mis tähistab olukorda kus seade on vastupidav ka kõrge surve ja temperatuuriga veejugaadele. Kõige levinum siiski on kahe numbri kombinatsiooniga variant. Esimene number näitab kaitset tahkete osade vastu skaalal 0-6, kus 6 on täiesti tolmutihe. Teine number näitab kaitset vee vastu skaalal 0-8, kus 8 on kaitse püsiva uppumise vastu kuni 4m sügavuses vees. Välitingimustes ja vannitubades on ettenähtud vähemalt IP 44. [13]

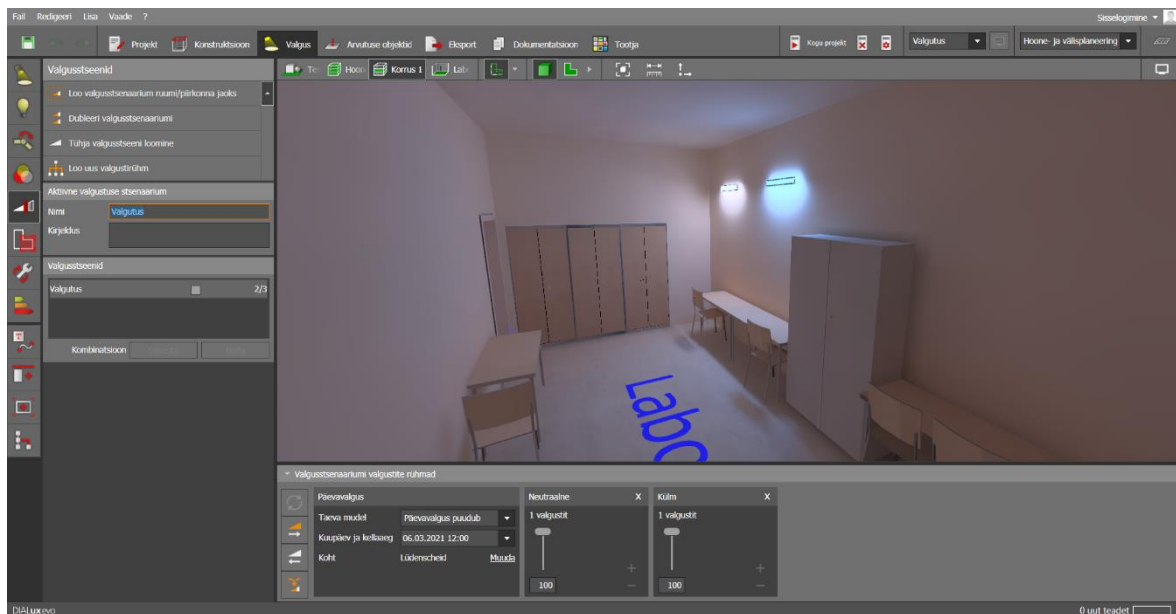
Lõpuks kui on leitud sobiv valgusti, mis vastab kriteeriumitele, tuleb see lisada simulatsiooni. Kõige mugavam on seda teha jällegi plaani vaates ülalt. Seekord tuleb valida *Konstruksiooni* käskluse kõrvalt *Valguse* ikoon. Siit edasi juba *Valgustid* menüüst käsklus *Vali* ja kataloogist sobiv valgusallikas välja valida. Valgusteid saab lisada programmi ka alla laetavatest lisa kataloogidest kui ka internetist otse. Lõpuks tuleb ainult valgusti õigesse

kohta tirida ja hiljem siis täpsed koordinaadid sisestada tabelisse. Dialux võimaldab valgustid automaatselt paigutada igasse piirkonda vastavalt ruumi valgustihedus vajadusele. Samuti on võimalik teha ka ringikujulist kui ka ette joonistatud kujundisse valgusallika paigutust. Kui millegipärast ei sobi valitud lambid projekti, siis saab need alati kõik korraga uute vastu vahetada. Joonisel 13 on kujutatud valmis laborit töötavate valgustitega.



Joonis 13. Valmis labor töötavate valgustitega (autori koostatud kuvatõmmis).

Dialux paneb kõik lisatavad valgustid nii öelda ühe lüliti alla, et kui üks põleb siis põlevad kõik. Kuna hilisemas töös on vaja, et põleb üks või teine valgusti, siis peab tekitama eraldi valgusstseenid. *Valgus* menüü alt tuleb valida vasakus tulpas olev käsklus *Valgustseenid*. Valitud aknas näete allpool kogu piirkonna valgustite arvu. Selle numbrilise näidu all saab reguleerida valguse hulka sajast nullini. Ühesõnaga on tegu hämardava lülitiga. Järgnevalt tuleb välja valida valgustid mida eraldi tahame sisse ja välja lülitada. Valides mudelist sobiv valgusallikas tuleb klõpsata valgus regulaatori nupu kõrval olevat miinus märki. See tegevus eemaldab valitud lambi üldisest rühmast. Peale seda peaks aktiivseks muutuma käsklus *Loo uus valgustirühm*. Klõpsates sellele tekib alla aknasse kaks valgus regulaatorit ja lõpptulemus on kujutatud joonisel 14.

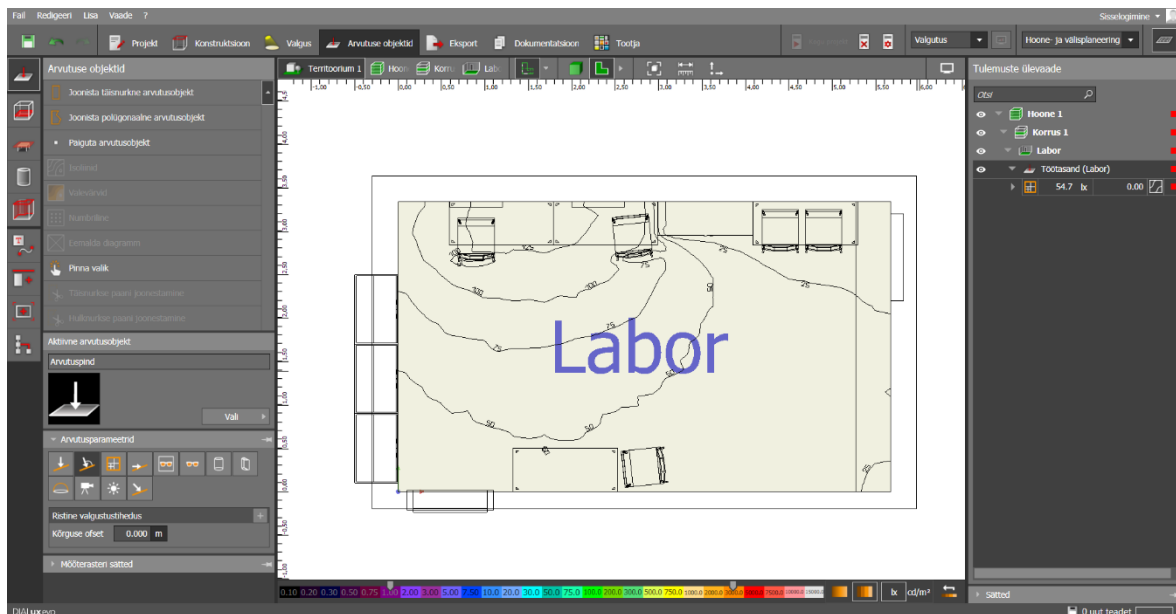


Joonis 14. Erinevad valgustuseenid (autori koostatud kuvatõmmis).

2.4. Valgustiheduse arvutused

Mudeli lõplikul valmimisel on võimalik uurida valgustus simulatsioone. Selle tulemusena saab programmiga arvutada valgustiheduse väärtusi eri ruumide kaupa kui ka konkreetse punkti suhtes. Antud tulemusi on vaja selleks, et teada saada kas antud piirkond on piisavalt valgustatud töötamiseks. Kui valgustus vastab standardile EVS-EN 12464-1:2011, siis loetakse see nõuetele vastavaks [8]. Tulemused peaksid olema kas võrdsed või suuremad etteantud numbrilisest väärtusest. Kindlasti tuleb arvestada sellega, et ruumi üle valgustamisel tekib valguse rägus. Valguse rägust kutsuvad esile nägemisvälja liigheledad alad, mis võivad põhjustada tööõnnetusi [14].

Töös käsitletava labori keskmise valgustiheduse arvutamiseks tuleb vajutada ülemisel real asuvale ikoonile *Kogu projekt*. Programm teeb ise arvutused ja kuvab valgustiheduse isojooned mudelil (joonis 15).



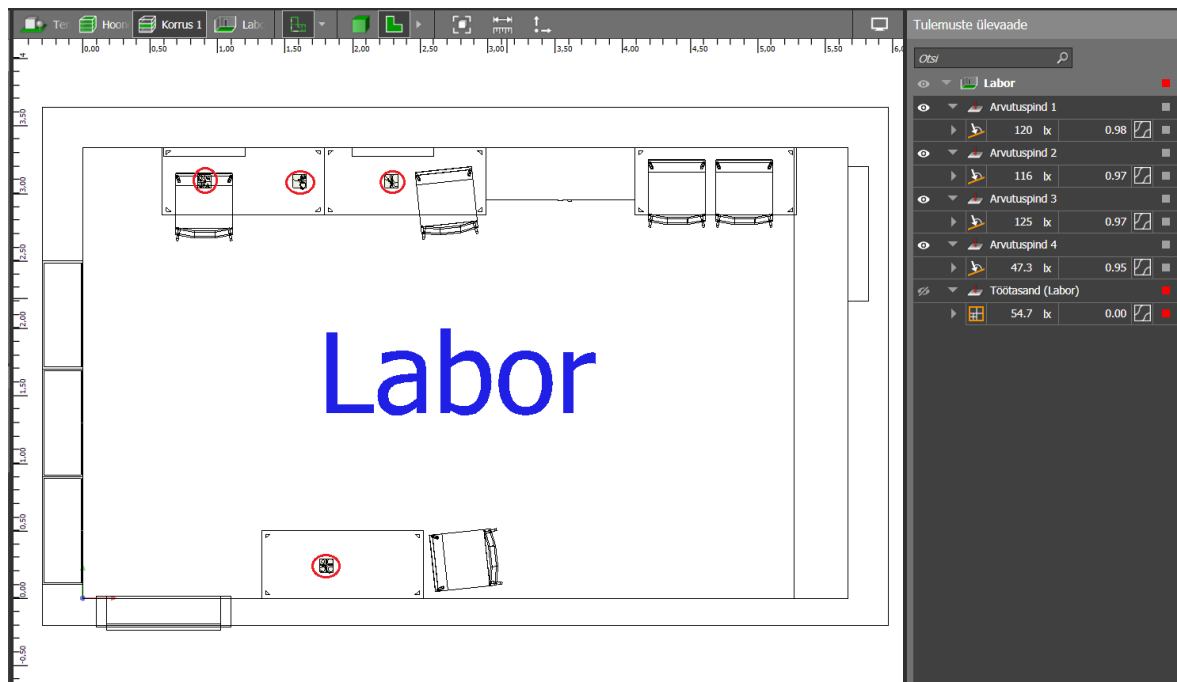
Joonis 15. Valgustihedus isojoontega mudel (autori koostatud kuvatõmmis).

Arvutatud väärtused kuvatakse parema poolses aknas. Antud labori keskmine tulemus on 54,7 lx ja maksimaalne 132 lx. Veel saab teada, et keskmise kasutusajaga on energiakulu 27 kWh, mis teeb kuluks umbes 3 eurot aastas.

Kuna antud töös on vaja võrrelda reaalseid mõõtetulemusi simulatsiooniga, tuleb lisada joonisele mõni arvutusobjekt. Lõputöö autor käis kohapeal valgustihedusi mõõtnas neljas eri punktis. Mõõtmised said teostatud kahe erineva luksmeetriga, et tekiks kohene võrdlusmoment. Need neli mõõtepunkti olid:

- 1) Neutraalse valgusti all asuva laua peal, lambi tsentris ja umbes 30 cm seinast.
- 2) Külma valgusti all asuva laua peal, lambi tsentris ja umbes 30 cm seinast.
- 3) Nende kahe valgusti keskel asuva laua peal ja umbes 30cm seinast.
- 4) Valgustite vastas seinas asuva laua peal.

Nende punktide joonisele kandmine toimub käskluse *Arvutus objektid* aknast. Järgmiseks tuleb valida *Joonista täisnurkne arvutusobjekt*. Seal on ka teisi käsklusi, mis teevad sama töö ära, ainult kujund on erinev. Edasi tuleb vastavale kohale maha märkida soovitud suurusega arvutusobjekt. Antud tegevust on lihtsam teha taaskord plaani vaates. Kujund tuleb teha võimalikult väike. Põhjus selleks on, et luksmeeter mõõdab ainult teatud punkti, mitte suurt piirkonda. Joonisel 16 on punase ringiga märgistatud mõõtepiirkonnad ning paremas tulbas on Dialuxi arvutatud väärtused neile.



Joonis 16. Valgustiheduse mõõtepiirkonnad ja väärtused (autori koostatud kuvatõmmis).

3. TULEMUSTE ANALÜÜS

Valguse simulatsioon läbiviidud ning arvutus tulemused teada, tuleb hakata andmeid analüüsima. Dialuxi arvutuste tulemusena saadi teada nelja punkti valgus tiheduse väärtused kui ka ruumi keskmise näitaja. Leitud väärtusi tuleb võrrelda reaalsete mõõtetulemustega. Mida väiksemad on erinevused kahe tulemi vahel seda parem simulatsioon sai koostatud. Mõõtmised reaaalses keskkonnas on läbiviidud kahe erineva luksmeetriga. Seadmeteks olid PeakTech 5086 ja Gigahertz-optik MSC1. Kahte erinevat seadet kasutati sellepärast, et kinnitada mõõtetulemusi. Kui mõlemad näitavad ligilähedaselt sama tulemust siis võimalus, et mõlemad on vigased on üsna väike. Samas näitab see katse ka seda, et eri seaded näitavad eri tulemusi. Tabelis 3 on välja toodud erinevates punktides valgustiheduste reaalsed mõõtmised ja Dialuxi arvutuste väärtused. Sulgudes on arvutatud B-tüüpi määramatuse vahemik mõõteseadmetel.

Tabel 3. Valgustiheduse mõõtetulemused erinevates punktides, lux.

	PeakTech 5086	Gigahertz-optik	DiaLux
1. Töötab külm valgus. Mõõtmine laua pealt töötava valguse keskelt.	78,8 (74,1- 83,5)	79,32 (76,1-82,5)	76,4
2. Töötab külm valgus. Mõõtmine laua pealt kahe valgusti keskelt.	58,9 (55,4-62,4)	59,7 (57,3-62,1)	60,3
3.Töötavad mõlemad. Mõõtmine laua pealt kahe valgusti keskelt	118,1 (111,1-125,2)	120,4 (115,6-125,2)	125
4.Töötavad mõlemad. Mõõtmine laua pealt külma valgusti keskelt.	120,3 (113,1-127,5)	119 (114,2-123,8)	116
5.Töötavad mõlemad. Mõõtmine laua pealt sooja valgusti keskelt.	119 (111,9-126,1)	118,3 (113,6-123,0)	120
6. Töötavad mõlemad. Mõõtmine vastas seinas asuva laua pealt.	58,1 (54,6-61,6)	54 (51,8-56,2)	47,3

Spetsifikatsioonide järgi on PeakTech-i seadme täpsus $\pm 6\%$ ja Gigahertzil $\pm 4\%$. Arvestades mõõteseadmete eksimus skaalat siis on saavutatud tulemused väga head. Erinevused jäävad üldiselt 5 lux-i piiridesse, väljaarvatud kaugeima punkti tulemus. Koostatud simulatsioon on väga sarnane reaalsele olukorrale, seega võib saadud tulemusega rahule jääda.

Antud tulemustest võib välja lugeda mis ruumi funktsioonile vastab labori valgustihedus. Avalikult kasutatavates ruumides ja töökohtadel kehtestatud nõuete kohaselt on õppimiseks

ettenähtud keskmine valgustihedus vähemalt 500 lx [8]. Valitud valgustitega oli tulemuseks 54,7 lx. Järelikult kehtitavate nõuete järgi ei saaks antud tingimustel õppetööd läbi viia. Sellise valgustihedusega avalikel sisetöökohtadel ei või olla valgustatud isegi koridorid ega laoruumid, kus on minimaalselt nõutud 100 lx [8]. Ehituspiirkondades kus tehakse äravoolutorude paigaldust, materjalide transporti, abi- ja ladumistööd on ette nähtud minimaalselt 50 lx [15]. Taoliste välitööde juures vastaks labori keskmine valgustihedus nõuetele.

3.1. Labori valgustatuse mõju tööviljakusele ja nägemisele

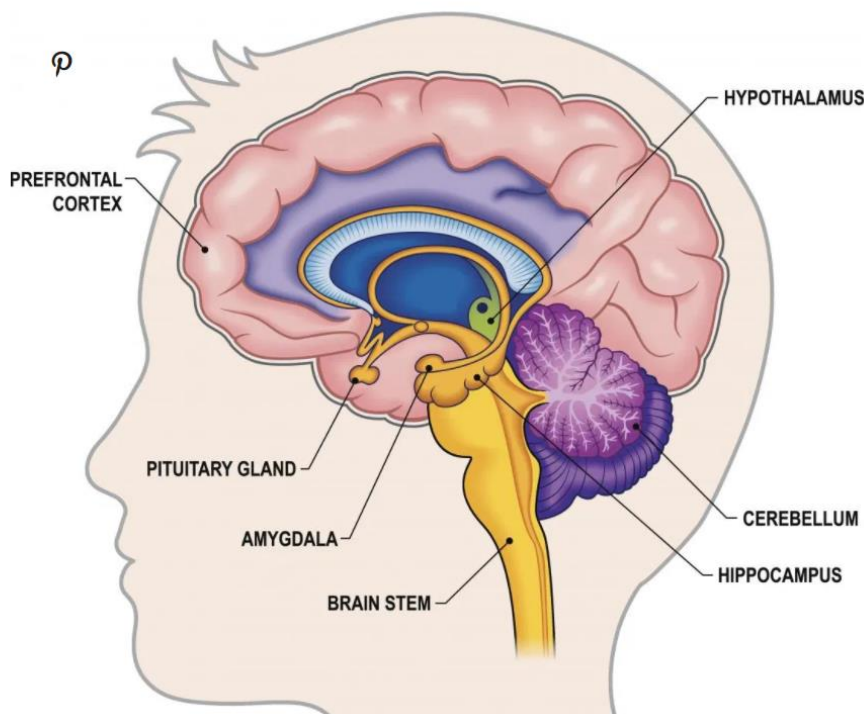
Keskmine valgustihedus antud laboris on pea kümme korda ja töökohtadel umbes viis korda väiksem nõutavast. Selline töökeskkond on tervist kahjustav ja mõjub tööviljakusele laastavalt. Valgus on tähtsaim füüsikaline parameeter töökeskkonnas, sest see mõjutab otseselt inimese nägemist. Nägemisvõime kaudu saab inimene umbes 90% informatsioonist, mida ta kasutab oma töös. Meie päikesesüsteemis on päike loomulik valgusti, mis on kõige vastuvõetavam valgusallikas, sest see stimuleerib inimorganismi elutegevust. Loomuliku päevavalguse puudumisel, tuleb töökohtades eelistada tehisliku ja loomuliku valguse kombinatsiooni. [17]

Nägemisvõime on silma töövõime, mida on võimalik mõõta näiteks nägemisülesande sooritamise aja ja täpsusega. Pilkases pimeduses on raske ülesandeid täita. Nägemisvõimet mõjutavad tegurid tulenevad tehtava töö olemusest, valgustusest või nende kahe faktori kombinatsioonist. Nagu eelnevalt oli mainitud, erinevate ülesannete puhul on komponentide tähtsus samuti erinev. Kui tegemist on ülesandega, mille korral on visuaalne objekt väikse tähtsusega, siis on selge, et valgustingimuste muutmisega ei saavutata olulist tööviljakuse kasvu. Kuid selliste ülesannete puhul, mis nõuavad lugemist, andemete sisestamist või värvi kontrolli, on nägemisvõime valgustingimustele palju tundlikum. Kuna laboris tehakse just sellist laadi töid siis peaks valgusolude parandamine tagama suurema tööviljakuse. [17]

Mida väiksem on vaadeldav ese, seda tundlikum on nägemisvõime valgustiheduse ja kontrasti muudatuste suhtes. Sellest tulenevalt on valgustitele esitatavad nõuded otseses seoses tehtava töö täpsusastmega. Valgustiheduse suurendamisega ei ole võimalik lõpmatuseni nägemisvõimet parandada. 1988 aastal tehtud katsete põhjal on märgata

nägemisvõime paranemist kuni suurusjärguni 200 lux-i. Vahemikus 200 lux-i kuni 800 lux-i olid tulemused muutumatud. 500 lux-i ja 1200 luxi-i tulemuste võrdluses kui tehtavaks tööks oli kirjavigade otsimine, ei leitud olulisi erinevusi. [17]

Valgustingimustel on ka psühholoogiline mõju, mis samuti mõjutab tööviljakust. USA teadlaste sõnul võib magamistoas ööseks põlema jäetud valgustus masendust ja depressiooni tekitada. Uuriijate tulemuste põhjal segab öine valgustus ärkveloleku ja magamis tsüklit niimoodi, et see läheb nihkesse. Magamistsükli muutused ja valguse käes olemine valedel ajal võib pikaaegse tulemusena kaasa tuua raskemaid haigusi nagu vähk. Kuna modernsetes linnades on kõige pimedal ajal ka valge, siis täielikkus pimeduses on peaaegu võimatu magada. USA Ohio ülikooli teadlased viisid läbi katse närilistega. Katse käigus jäeti loomadele nende uneajal põlema nõrk valgusallikas. Kuigi põleva lambi valgus polnud tugev, mõjutas see siiski loomade organismi. Katseloomadel tekkinud depressiooni mõõdeti selle abil kui palju nad hiljem jõid suhkruvett. Uurimus käigus selgus, et need närilised kes viibisid öisel ajal nõrga valguse käes esines rohkem depressiooni kui neil, kes järgisid tavapäraselt unetsüklit. Katseloomade aju skaneering näitas muutusi hippokampuses, mis asub oimusagaras ajukoore sise piiril (joonis 17). Teadlase Tracy Bedrosiani sõnul mängib hippokampus depressiooni tekkel väga suurt rolli, kuna just see aju osa on öisest valgusest kõige enam mõjutatav. [18]



Joonis 17. Hippokampuse (*Hippocampus*) asukoht ajus [19]

Kokkuvõtteks võib öelda, et töökoha mitte nõuete vastav valgustus mõjutab nii tööviljakust, tervist kui ka inimese psühholoogiat. Kehvasti valgustatud tööala teeb protsessi aeglasemaks ja tulemused ei pruugi olla nii täpsed. Mida väiksemad on töödeldavad objektid seda rohkem valgust on vaja kvaliteedi tagamiseks. Samas on liigne valguse käes olemine öisel ajal laastav vaimsele tervisele. Võib tekkida depressiooni ja edasi isegi raskemad haigused nagu vähk. Hästi valgustatud töökoht on efektiivne ja töötaja tervise sõbralik.

4. ALTERNATIIVSED LAHENDUSED

Koostatud mudeli puhul on tegemist laboriga ja selles toimub aktiivne õppetöö, siis tuleb leida alternatiiv valgus lahenduse. Saavutada on vaja 500 lux-i valgustihedus. Ruumis pole tahvlit mida valgustada, siis järelikult käib õppetöö laudade taga istudes. Seega on vajalik, et just laudade ümbruses oleks valgustihedus saavutatud. Kõige pealt proovitakse leida lahendus eelnevalt kasutatud V-Tac peeglivalgustitega [7]. Vajamineva tulemuse saavutamiseks tuleb paigutada neid laborisse juurde ja töökohtadele lähemale. Lahenduse saaks ka saavutatud kui paigaldada laudadele piisavalt lähedale valgusallikas. Selle tulemusena, aga jääks ülejäänud ruum pime. Järelikult tuleb paigalda kahes reas lambid, et saavutada ka ruumis piisav valgustatus. Lõputöö autor kasutas selleks katse-eksitus meetodit. Tänu sellele, et tegu on simulatsiooniga on seda ülimalt lihtne teha. Joonisel 18 on näha lõpptulemus ning arvutatud väärtused töökohtadel.

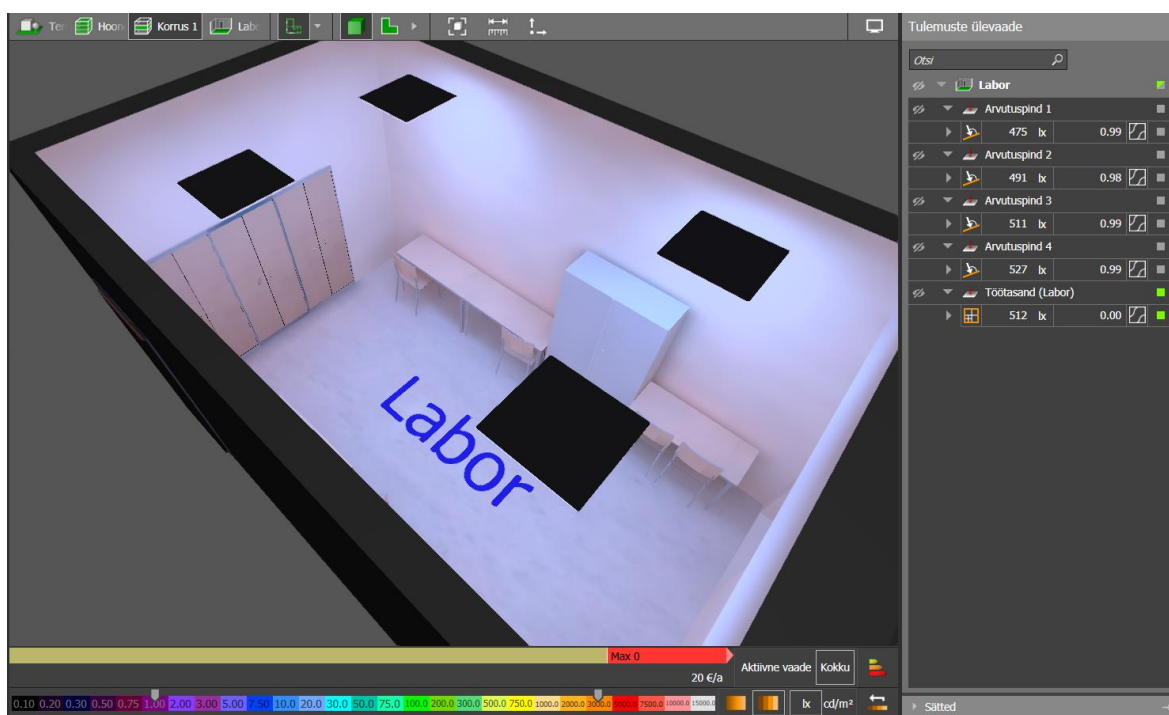


Joonis 18. Valguse alternatiiv lahendus (autori koostatud kuvatõmmis).

Töökohad said piisava valgustiheduse ja labori keskmine näitaja on 314 lx. Sellise lahenduse korral on aastane voolukulu 150kWh, mis teeb umbes 19 eurot. Tegemist ei ole kõige

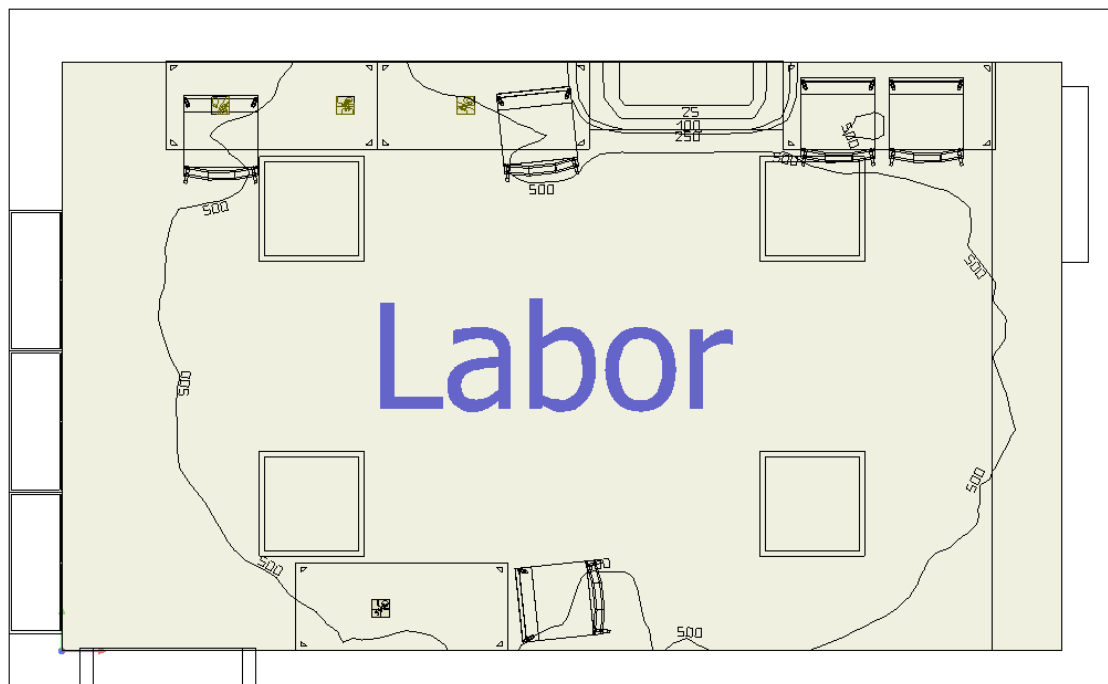
praktilisema tulemusega, kuna paigaldus oleks aega nõudev ja kulukas. Samuti seina peale paigaldus pole kõige optimaalsem ja valgustite hulk(11tk) on liiga suur selle labori jaoks.

Alternatiiv nr. 2 puhul valib töö autor elektervalgustus ja –kiiritus kursuse raames omandatud teadmiste põhjal sobilikud valgustid. Selle ülesande eesmärk on teha mudel, mida võiks realiseerida praktilises elus. Tuleb tagada samamoodi valgustihedus 500 lux-i. Kuna V-Taci sortiment on üsna mahukas siis sai valitud nende toodete seast. Valituks osutus V-Tac 20047, mille võimsus on 29 W, neutraalne valge 4000 K ja valgusvoog 3480 lm [12]. Lamp sai valitud väga hea valgusvoo pärast. Kasutades *Piirkonna automaatsed paigutused* käsklust, paigutab DIALux valgustid iseseisvalt. Sellega tagab programm ruumis nõutud valgustiheduse automaatselt. Tulemuseks on joonisel 19 kujutatud valgustitega alternatiiv lahendus nr. 2.



Joonis 19. Valguse alternatiiv lahendus nr. 2 (autori koostatud kuvatõmmis).

Tänu lambi väga heale valgusvoole tagavad neli valgustit ühtlase valgustatuse terves ruumis(joonis 20). Selle tulemuseks on labori keskmine valgustihedus 512 lux-i. Paigaldus on vähem aega nõudev kuna valgustite arv on väiksem. Juhuslikult on voolu aastane kulu täpselt sama eelmise alternatiiviga ehk 150 kWh. Valgustid maksavad kokku 160 eurot. Esimeses alternatiivis kasutatud valgustid maksavad kokku umbes 200 eurot. Majanduslikult hoiab nii paigalduse kui ka seadmete pealt kokku. Antud lahendus sobiks väga hästi käesoleva labori valgustamiseks.



Joonis 20. Alternatiiv nr.2 valgustiheduse isojooned (autori koostatud kuvatõmmis).

KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureuse töö esimeses peatükis keskenduti aktiivõppe vormide teoreetilisele osale. Töö teises peatükis kirjetati programm Dialux kasutamist ning kolmandas osas tegeleti tulemuste analüüsimisega. Lisaks pakuti antud lõputöös välja ka alternatiivsed lahendused labori valgustamiseks. Töö eesmärgiks oli koostada tulevastele üliõpilastele laboratoorse töö juhend

Töö esimeses pooles sai käsitletud aktiivõpet ja selle erinevaid võimalusi. Kõige enam sai tähelepanu pööratud simulatsioonidele. Selline õppemeetod on sobilik tulevastele inseneridele ja integreerub antud õppeainesse. Töös sai mainitud, et maailma hetke olukord nõuab paljudelt inimestelt kodus töötamist. Simulatsioon võimaldab õppida ka väljaspool kooli ning igal ühel endale sobival ajal ning omas tempos.

Bakalaureusetöö teises peatükis sai põhjalikumalt kirjeldatud töötamist valgustus programmiga Dialux. Enne programmi käsitlemist sai tehtud vajaminevad eeltööd laboris. Tööde käigus paigaldati ja soetati valgustid. Õpperuumis tehti vajalike parameetrite ja valgustiheduse mõõtmised. Järgnevalt tutvuti põhjalikumalt DIALux-iga. Valgustite valimise protsessi käigus saadi uusi teadmisi nii valgusallikate kohta kui ka erinevate valgustus mõistete kohta. Samuti tutvuti Eesti avalike ja tööruumide valgustiheduse nõuetega.

Töö kolmandas osas tehti tulemuste analüüs, kus võrreldi reaalseid mõõtetulemusi ning arvutatuid väärtusi. Saavutatud tulemused simulatsioonis olid üsna identsed reaalsete luksmeetrite näitudele. Lisaks käsitleti valguse mõju tööviljakusele ja nägemisele. Kuna antud labori mõõtetulemused olid alla normide siis sellistes tingimustes õppetööd toimuda ei saa. Töökoha vähesel valgustatusel on otsene seos töö efektiivsusele ja täpsusele. Veel selgus et magamistsükli ajal võib väiksemgi valgusallikas viia unehäireteni. See omakorda võib viia depressioonini ja isegi raskemate haigusteni nagu vähk.

Viimases peatükis pakuti välja kaks erinevat alternatiivi labori valgustamiseks. Vaja oli saavutada nõutud 500 lux-i valgustihedus. Mõlema mudeli puhul see ka saavutati. Esimese

variandi puhul oli tegemist majanduslikult kulukama versiooniga ning samuti polnud väga praktiline lahendus. Teine alternatiiv oli odavam ja ka loogilisema lahendusega ning aastane keskmine voolukulu oli mõlemal juhul identne.

Lõputöö ühe lisana valmis õppeaine “VALGUSTUSSEADISED” laboratoorse töö juhend. Kindlasti saab tööd veel edasi arendada ning siduda seda magistriõppes CAD rakendustega. Töös oleks võimalik kajastada valgustust ja sisevõrkusid ja valgustuse ning sisevõrkude simuleerimist. Seatud bakalaureusetöö eesmärgid said täidetud ning lõpptulemusega ollakse rahul.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Kallasmaa, A.** (2012) Miks on aktiivõpe parem kui passiivõpe? [*on-line*].
<https://novaator.err.ee/246853/miks-on-aktiivope-parem-kui-passiivope> (16.05.2021).
2. **Leuhin, I. Kärberg, A.** (2005). Aktiivõppe meetodite kasutamine –noore õpetaja edu võti . [*on-line*]. <https://haridus.opleht.ee/Arhiiv/032005/lugu7.pdf> (16.05.2021).
3. **Maksimova, A.** (2018) Aktiivõppe ja interaktiivõppe võtted tallinna koolide keelekümbelusklassides- I. Kooliastmes. Magistritöö. Tartu Ülikool sotsiaalteaduste valdkond Narva kolledž. Narva. 44 lk.
https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/64698/maksimova_aljona.mag.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Simulatsioonid. [*on-line*].
<https://energeetikamehaanika.weebly.com/simulatsioonid.html/> (16.05.2021).
5. **Sarapuu, T. Villak, H.** (2015). Ainekava toetavad arvutimudelid ja -simulatsioonid. [*on-line*]. https://oppekava.ee/wp-content/uploads/2015/07/Ainekava_toetavad_arvutimudelid_ja_-simulatsioonid.pdf (16.05.2021).
6. Sõjaline simulatsioon - Military simulation [*on-line*].
https://et.mihalicdictionary.org/wiki/Military_simulation (16.05.2021).
7. V-TAC Innovative Led Lighting [*on-line*]. <https://www.v-tac.eu/products/house-and-garden/led-wall-lamps/10w-led-mirror-light-white-cap-natural-white-ip44-detail.html> (16.05.2021).
8. **Valgus ja valgustus.** (2011). Töökohavalgustus. Osa 1: Sisetöökohad: EVS-EN 12464 – 1:2011. Tallinn: Eesti Standardikeskus.(16.05.2021).
9. **Valgus ja valgustus.** (2018). Põhioskussõnad ja valgustusnõuete valiku alused: EVS-EN 12665:2018. Tallinn: Eesti Standardikeskus.(16.05.2021).
10. LED Light Bulb Conversion Chart. [*on-line*] <https://www.lampsone.com/blog/led-light-bulb-conversion-chart/>
11. **Furchgott, R.** (2018). What to look for when buying light bulbs [*on-line*]
https://www.washingtonpost.com/realestate/what-to-look-for-when-buying-light-bulbs/2018/04/05/d353c050-2d15-11e8-8688-e053ba58f1e4_story.html (16.05.2021).

12. V-TAC Innovative Led Lighting. [veebiallikas]. [https://www.v-tac.eu/led-products-results-page/led-wall-lamps/?custom_f_122\[0\]=4d6972726f722042617468726f6f6d](https://www.v-tac.eu/led-products-results-page/led-wall-lamps/?custom_f_122[0]=4d6972726f722042617468726f6f6d) (16.05.2021).
13. **Ümbristega tagatavad kaitseastmed.** (2014). IP kood. EVS-EN 60529:2001+A2:2014 Tallinn: Eesti Standardikeskus. (16.05.2021).
14. Valgustus. [on-line] <https://www.tooelu.ee/et/Tooandjale/Tookeskkond/Tookeskkonna-ohutegurid/Fyysikalised-ohutegurid/valgustus> (16.05.2021).
15. **Valgus ja valgustus.** (2014). Töökohavalgustus. Osa 2: Välistöökohad: EVS-EN 12464-2:2014. Tallinn: Eesti Standardikeskus.(16.05.2021).
16. **Haviko, E.** (2019) Integreeriva sfääri laboratoorne kasutus. Bakalaureusetöö. Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduse valdkond. Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut. Tallinn. 37 lk.
17. **Sirge, T. Merisalud, E. Raimla, R. Reinvee, M. Teras, E.** (2017) Ruumi tehisvalgustuse mõju tööviljakusele. Uurimus töö. Eesti Maaülikool. Tartu. 62 lk.
18. **Grünthal-Drell, M.** Taastumisvahendid II [on-line] https://www.tlu.ee/opmat/ka/Taastvahendid_II/ine_valgus.html (16.05.2021).
19. **Dresden, D.** (2017) What is the hippocampus? [on-line] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/313295> (16.05.2021).

LISAD

“VALGUSTUSSEADISED” LABORATOORSE TÖÖ JUHEND

Töö eesmärk:

Tutvumine erinevate valgus mõistetega nagu valgusviljakus, valgusvoog, valgustihedus, jne. Eesmärk on valmis teha mudel reaalsest laborist ja sellega läbi viia valgustus simulatsioon.

Töö ülesanne:

Tutvuda tuleb avalikult kasutatavate ruumide ja töökohtade kehtestatud valgustus nõuetega. Mõõta mudeli jaoks labori vajaminevad parameetrid ning pildistada ruumi eri kohtadest. Teha kindlaks uuritavate valgustite V-Tac 3918 ja V-Tac 3919 positsioon seinas. Mõõta mööbli suurused ja asukohad. Saadud parameetrid kanda soovituslikult programmi DIALux, et seal valmistada mudel laborist. Samuti tuleb teostada kahe erineva luksmeetriga mõõtmisi eri kohtadest. Võimalikult erinevate tulemuste saamiseks tuleks vabal valikul üks valgusti välja lülitada. Hiljem võrrelda reaalseid tulemusi arvutatud simulatsiooni väärtustega.

Lisaks:

Teha kaks alternatiiv simulatsiooni nii, et vähemalt aktiivse õppetöö punktides ehk siis ümber laudade oleks valgustihedus vähemalt 500 lux-i. Ühe variandi puhul kasutada eelnevaid V-Tac valgusteid ja teine situatsioon võiks olla loogiline ja reaalses elus kasutatav. Teise variandi puhul ei sea piiranguid valgustite valimisel.

Küsimused:

- 1) Kas valgustusel on mõju inimese tervisele? Miks?
- 2) Mis on sinine valgus?
- 3) Kas magamistsükli ajal sinise valgusega ekraani vaatamine võib tekitada inimeses depressioon ? Miks?
- 4) Mida uut said teada antud tööd tehes ?

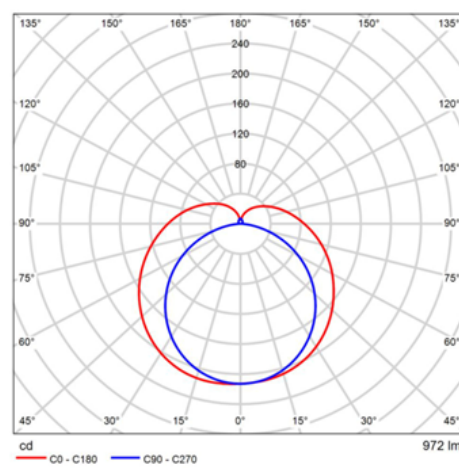
Märkused: Vaadeldavad mõõtmistulemused ja arvutatud väärtused Dialux-is ei tohi liiga palju erineda.

TOOTE ANDMETABEL

V-TAC V-TAC V-TAC 10W LED Mirror Light White 6500K IP44



Artikli nr.	3919
P	10.0 W
ΦValgusti	972 lm
Valgusviljaku s	97.2 lm/W
CCT	6351 K
CRI	81
Indeks	3917



Polaarne
LDC

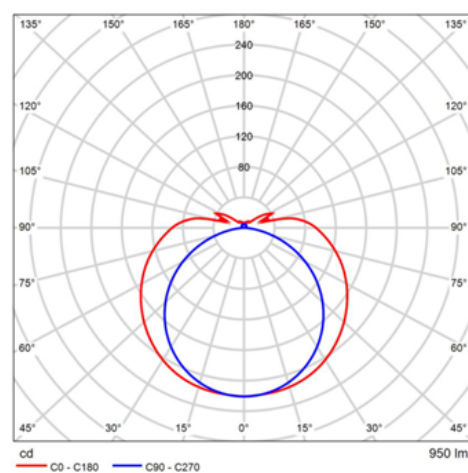
V-TAC V-TAC 10W LED Mirror Light White 6500K IP44

TOOTE ANDMETABEL

V-TAC V-TAC 10W LED Mirror Light White Cap Natural White IP44



Artikli nr.	3918
P	10.0 W
ΦValgusti	950 lm
Valgusviljaku s	95.0 lm/W
CCT	3783 K
CRI	84



Polaarne
LDC

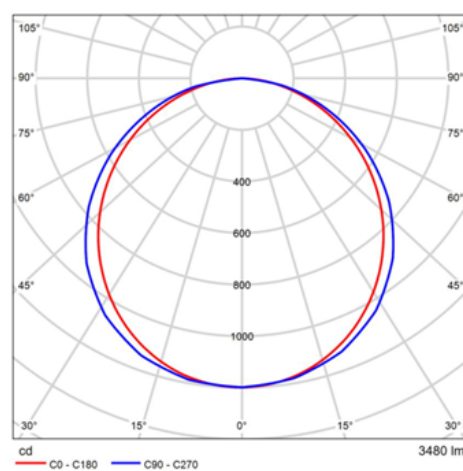
10W LED Mirror Light White Cap Natural White IP44

TOOTE ANDMETABEL

V-TAC V-TAC 29W Led Panel 595*595mm SAMSUNG 4000K A++ 5 YRS WARRANTY
6PCS/SET



Artikli nr.	20047
P	29.0 W
ΦValgusti	3480 lm
Valgusviljaku s	120.0 lm/W
CCT	4000 K
CRI	80



Polaarne
LDC

V-TAC 29W Led Panel 595*595mm SAMSUNG 4000K A++ 5 YRS
WARRANTY 6PCS/SET |

LIHTLITSENTS

Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Taavi Tigason
sünniaeg 20.01.1989,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö
Õppeaine “Valgustusseadised” laboratoorse töö juhend,
mille juhendaja on Jaak Jõgi,
 - 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
 - 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
 - 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu lõppemist kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor

Taavi Tigason
(allkirjastatud digitaalselt)

Tartu, 27.05.2021

Juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

Jaak Jõgi
(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäev)